

Implementación del Sistema Recirculatorio Automatizado para la Evaluación de la Producción de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) Hidropónica Tipo Batavia

Implementation of an Automated Recirculation System for Evaluating the Production of Batavia-Type Hydroponic Lettuce (*Lactuca sativa* L.)

Álvaro Nehemías López Ponce

Universidad de Sonsonate

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8225-3673>

alvaro.lopez@usonsonate.edu.sv

Enviado: 07 de marzo del 2025

Aceptado: 27 de agosto del 2025



Este contenido está protegido bajo la licencia CC BY
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>

Resumen

La presente investigación evalúa la eficiencia de un sistema de recirculación automatizado para la producción de lechuga hidropónica, realizado en el Centro de Investigación y Transferencia Agroalimentaria y Medioambiente (CITAM), cuyo objetivo principal es evaluar la influencia de este sistema en el crecimiento, calidad y la sostenibilidad del cultivo de lechuga hidropónica, controlando variables como: temperatura, pH y conductividad eléctrica para optimizar el crecimiento. Se realizaron cinco repeticiones del cultivo, monitoreando variables de crecimiento, incluyendo el tamaño, peso, largo de las raíces y el diámetro de la roseta. Los resultados mostraron un crecimiento satisfactorio con lechugas de buena calidad con el sistema implementado, obteniendo un tamaño, peso y diámetro de la roseta adecuado, con un desarrollo radicular considerable, lo que indica que el sistema proporcionó las condiciones necesarias para el desarrollo del cultivo, demostrando la eficiencia en el uso de agua y nutrientes, lo que contribuye a la sostenibilidad. El estudio concluye que los sistemas de recirculación automatizados representan una alternativa prometedora para avanzar hacia una agricultura sostenible con el tiempo.

Palabras clave

Agricultura sostenible, hidroponía, sistemas recirculatorios, automatización, nutrición vegetal.

Abstract

This research evaluates the efficiency of an automated recirculating system for hydroponic lettuce production, carried out at the Center for Agri-Food and Environmental Research and Transfer (CITAM). Its main objective is to evaluate the influence of this system on the growth, quality, and sustainability of hydroponic lettuce crops, controlling variables such as temperature, pH, and electrical conductivity to optimize growth. Five repetitions of the crop were carried out, monitoring growth variables, including size, weight, root length, and rosette diameter. The results showed satisfactory growth with good quality lettuces with the implemented system, obtaining adequate size, weight, and rosette diameter, with considerable root development. This indicates that the system provided the necessary conditions for crop development, demonstrating efficient use of water and nutrients, which contributes to sustainability.

The study concludes that automated recirculating systems represent a promising alternative for moving toward sustainable agriculture over time

Keywords:

Sustainable agriculture, hydroponics, recirculating systems, automation, plant nutrition.

Introducción

La creciente población mundial y la demanda de alimentos frescos de alta calidad han impulsado la búsqueda de sistemas de producción agrícola más eficientes y sostenibles (Rojano, 2004). En este contexto, la hidroponía se ha posicionado como una alternativa prometedora, permitiendo un mayor control sobre las condiciones de cultivo, un uso más eficiente del agua y los nutrientes (Leiva Espinoza et al., 2019), y una reducción del impacto ambiental en comparación con los sistemas de cultivo tradicionales en suelo. (Juárez Olmos et al., 2024), destacar el potencial de la hidroponía como fuente de alimentación para complementar la canasta básica, especialmente en áreas con limitaciones de tierra cultivable o recursos hídricos. Además, los sistemas hidropónicos se catalogan como sistemas agrícolas rentables, ofreciendo diversos beneficios económicos a los productores (Pertierra Lazo y Quispe Gonzabay, 2020; Álvarez Díaz, 2024) encontraron que los sistemas hidropónicos pueden ser rentables y ofrecer beneficios económicos a los productores.

Dentro las ventajas que los diferentes sistemas hidropónicos ofrecen, sobresalen como alternativa agrícola en áreas urbanas, donde, la implementación del sistema recirculatorio se distingue por beneficios significativos en términos de sostenibilidad (Albuja et al., 2021), y eficiencia en el uso de recursos, convirtiéndose en una opción atractiva para la producción de alimentos, ya sea, en grande o pequeña escala (Sandoya et al., 2022). La recirculación permite un mejor aprovechamiento de los nutrientes, ya que las plantas no absorben todos los nutrientes en un solo paso, lo que minimiza las pérdidas y el impacto ambiental asociado a la lixiviación de nutrientes.

La automatización de los sistemas de recirculación representa un avance significativo en la hidroponía, ya que permite un control preciso y continuo de las

variables clave del cultivo, como la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva (Urdiales Ponce y Espín Ortega, 2018). Estos sistemas ofrecen ventajas en términos de eficiencia, productividad y sostenibilidad, al optimizar el uso de recursos y minimizar la intervención humana, dinamizar las condiciones del cultivo en respuesta a las necesidades de las plantas, influyendo en el crecimiento y calidad del producto (Rojano et al., 2004), la producción agrícola controlada, incluyendo la hidroponía, se beneficia de la automatización al permitir un control preciso de las variables ambientales, monitoreando las condiciones del cultivo (Mateus Contreras et al., 2021), en conjunto a los parámetros nutricionales, lo que resulta en una mayor productividad y calidad de los cultivos (Zambrano Cortés y Behrentz Pfalz, 2014).

La presente investigación se enfoca en la producción de lechuga hidropónica (*Lactuca sativa* L.), con el objetivo de evaluar la eficiencia en términos de crecimiento, calidad del producto y sostenibilidad. Se analizó la influencia de la automatización en la estabilidad de las condiciones de cultivo y contrastar el efecto del sistema en diferentes variables de crecimiento, como el tamaño, el peso, largo de las raíces y el diámetro de la roseta de la lechuga.

Para llevar a cabo la investigación, se utilizó un sistema de recirculación automatizado que controló la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, mediante un pH-metro y un medidor TDS. Se realizaron cinco repeticiones del cultivo, monitoreando las variables de crecimiento y las fluctuaciones en los parámetros fisicoquímicos de la solución nutritiva a lo largo del ciclo de cultivo.

El estudio se centró en la lechuga, una hortaliza de hoja de gran importancia económica y nutricional, que se adapta bien a los sistemas hidropónicos; considerando que, es un cultivo de ciclo corto, lo que permite obtener resultados en un tiempo relativamente breve. Además, es un cultivo sensible a las variaciones en las condiciones ambientales, por lo que es un buen modelo para evaluar la eficiencia de los sistemas de recirculación automatizados en el control de las variables de cultivo. Se espera que los resultados de este estudio contribuyan a un mejor entendimiento de las ventajas y desafíos de los sistemas de recirculación automatizados para la producción de lechuga y otras hortalizas de hoja.

Esta información puede ser útil para tomadores de decisiones, agricultores e investigadores en el desarrollo de estrategias para una agricultura sostenible y eficiente.

Metodología

La investigación se desarrolló en el Centro de Investigación y Transferencia Agroalimentaria y Medioambiente (CITAM), perteneciente a la Universidad de Sonsonate, ubicado en el cantón San José La Majada, jurisdicción del municipio de Juayúa, departamento de Sonsonate. Geográficamente se encuentra en las coordenadas 13°50'14" latitud norte y 89°42'45" longitud oeste (Google Earth, 2024). Se distingue por un clima templado de montaña, con una temperatura promedio anual que oscila entre los 18°C y 25°C, y una humedad relativa anual promedio del 75%, alcanzando un máximo del 90% durante agosto y septiembre. Su altitud, que varía entre los 1,000 y 1,500 metros sobre el nivel del mar, contribuye a mantener un ambiente fresco. Las precipitaciones distribuidas a lo largo del año, alcanzan un promedio de 1,800 mm, con una temporada lluviosa marcada entre mayo y octubre. Estas condiciones climáticas, junto con los suelos volcánicos fértiles y ricos en nutrientes, así como la abundancia de recursos hídricos, crean un entorno ideal para diversos cultivos. (Alcaldía Municipal de Juayúa, 2013, pp. 6-9).

El diseño consistió en comparar el crecimiento de lechuga tipo Batavia bajo un sistema hidropónico recirculatorio automatizado; con el objetivo de evaluar las diferencias en rendimiento y robustecer los resultados obtenidos, para ello, se establecieron cinco repeticiones del cultivo en el sistema hidropónico recirculatorio. Las variables de respuesta analizadas fueron peso fresco promedio, largo de raíces promedio, tamaño de las lechugas promedio y diámetro de la roseta promedio.

El sistema hidropónico recirculatorio, que se implementó en una estructura piramidal (figura 1) y posteriormente a una estructura horizontal (figura 2), fue diseñado para mantener una solución nutritiva en circulación constante mediante una bomba de 700 GPH a 120 V, que aseguró una distribución homogénea de nutrientes y oxígeno a las raíces, evitando la sedimentación y formación de algas.

La bomba fue controlada mediante un temporizador digital de 600 WT 5 AMP, programado para operar ciclos de 40 minutos de encendido y 20 minutos de reposo durante un rango de 12 horas diarias, adaptándose a las

condiciones ambientales del experimento. Para garantizar el correcto manejo de la solución nutritiva, se utilizó un medidor TDS para evaluar la conductividad eléctrica y ajustar la concentración de nutrientes en partes por millón (ppm), y un pHmetro para monitorear y ajustar los niveles de acidez o alcalinidad, asegurando un rango óptimo para el desarrollo del cultivo.

Figura 1.
Diagrama del proceso de recirculación en la estructura piramidal

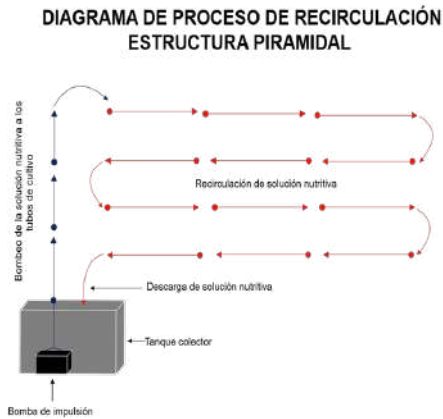


Figura 2.
Diagrama del proceso de recirculación en la estructura horizontal



El análisis estadístico se realizó en el software JASP, comparando las medias de las variables de respuesta para determinar si las diferencias observadas eran significativas. Este enfoque permitió identificar la influencia del sistema hidropónico recirculatorio en el crecimiento de las plantas, generando así resultados confiables y aplicables para la producción agrícola automatizada.

Resultados

En el cultivo de lechuga hidropónica, la monitorización constante de pH, conductividad eléctrica (CE) y la temperatura de la solución nutritiva (tabla 1), es crucial para asegurar el crecimiento óptimo y obtener excelentes resultados en el experimento. Un pH equilibrado facilita la absorción de nutrientes esenciales, mientras que la CE ofrece información sobre la concentración total de sales disueltas; teniendo control de la temperatura es de gran importancia, ya que, influye directamente en la solubilidad del oxígeno en la solución nutritiva.

Estas mediciones permiten mantener un control preciso sobre las condiciones del entorno radicular, asegurando que las plantas tengan acceso a los nutrientes necesarios en las cantidades adecuadas.

Tabla 1.
Parámetros fisicoquímicos promedio de la solución nutritiva

Repeticiones	CE (ppm)	Temperatura	pH
1	255,4	22,1	5,6
2	348,8	21,7	5,6
3	749,4	21,7	5,7
4	770	20,7	6,0
5	949,5	20,25	5,9

La automatización del sistema y el control preciso de factores como la iluminación (Martínez & Garbi, 2015 y nutrición (Carbone, 2015), fueron factores determinantes en el desarrollo del experimento. Los datos promedios recopilados (tabla 2) respaldan la importancia de la implementación de la tecnología en la agricultura moderna para optimizar la producción.

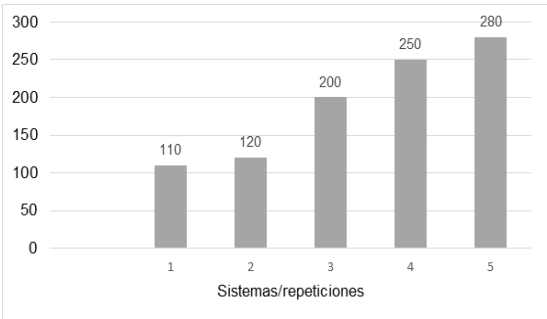
Tabla 2.
Medidas biométricas de la lechuga en función del sistema de cultivo

Repeticiones/ Sistemas	Peso fresco promedio (g)	Largo de raíces promedio (cm)	Tamaño de lechuga promedio (cm)	Diámetro de roseta promedio (cm)
1	110	10	20	15
2	120	10	20	17
3	200	10	25	20
4	250	15	30	25
5	280	20	30	25

Peso fresco promedio (g)

El análisis del peso fresco promedio reveló diferencias significativas entre las muestras estudiadas. Se observó una clara tendencia ascendente en el promedio del peso fresco a medida que se optimizaron las condiciones y manejos del experimento; donde la aplicación de un manejo integrado del cultivo influyó directamente en el peso. El rango de peso fresco promedio registrado fue notable, con un valor máximo de 280 g y un mínimo de 110 g (figura 3).

Figura 3.
Peso fresco promedio (g)

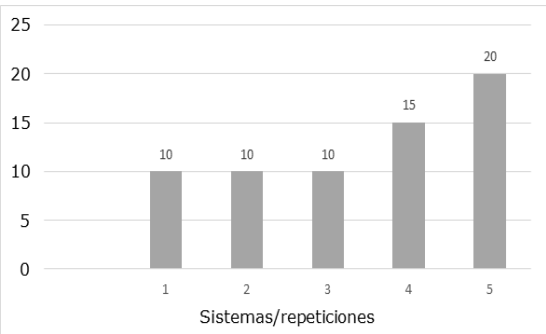


Largo de raíces promedio (cm)

El análisis de los datos reveló que no se obtuvieron resultados significativos en el largo de las raíces. Sin embargo, se observaron diferencias entre los tratamientos. Estas diferencias se manifestaron a medida que se extendía el horario de recirculación de la solución nutritiva y se incrementó el control sobre los parámetros fisicoquímicos de la misma, obteniendo resultados, donde el largo promedio mínimo registrado fue de 10 cm y máximo de 20 cm (figura 4). Si bien el largo de las raíces no mostró una respuesta significativa, la variación observada entre los tratamientos demostró que el manejo de la solución nutritiva, específicamente la duración de la recirculación y el control de sus propiedades fisicoquímicas influyó en el desarrollo radicular.

Figura 4.

Largo de raíces promedio (cm)

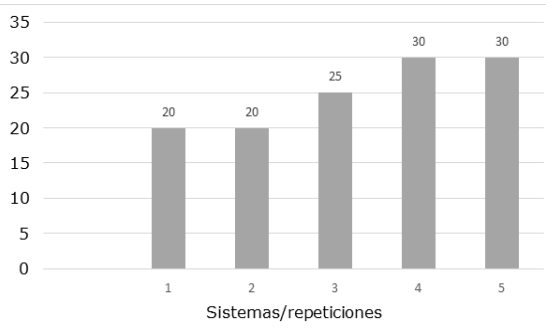


Tamaño de lechuga promedio (cm)

La investigación demostró resultados significativos en el tamaño de la lechuga. Esto indica que los manejos y los equipos implementados a lo largo del desarrollo del experimento influyeron en el tamaño que alcanzan las lechugas. Como resultado de las estrategias implementadas, se obtuvo una mayor uniformidad en el cultivo y se minimizó el porcentaje de pérdidas, obteniendo resultados, donde el tamaño promedio mínimo registrado fue de 20 cm y máximo de 30 cm (figura 5). Estos hallazgos sugieren que la aplicación de prácticas de manejo adecuadas y el uso de equipos eficientes pueden contribuir significativamente a la optimización del cultivo de lechuga.

Figura 5.

Tamaño de lechuga promedio (cm)



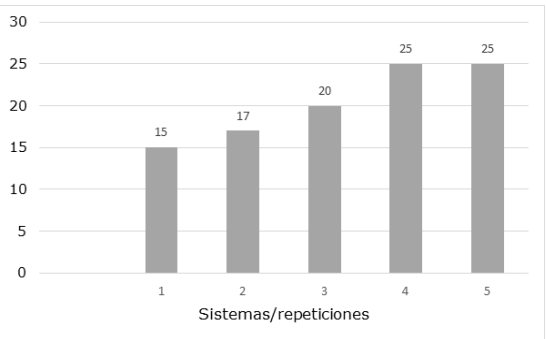
Diámetro de la roseta promedio (cm)

El estudio reportó resultados significativos en cuanto al diámetro de la roseta. Se observó una diferencia estadísticamente significativa entre los sistemas desarrollados para su medición. El promedio mínimo registrado fue de 15 cm, mientras que el promedio máximo alcanzó los 25 cm (figura 6).

Esta variabilidad en el diámetro de la roseta promedio se atribuye a la implementación de equipos de alta eficiencia y a las condiciones óptimas en las que se llevó a cabo el experimento. El estudio destaca la importancia de la precisión en los instrumentos de medición y el control de variables para obtener resultados confiables en la determinación del diámetro de la roseta.

Figura 6.

Diámetro de roseta promedio (cm)



Discusión

Los resultados de esta investigación sugieren que el sistema de recirculación automatizado mantiene una relativa estabilidad de las condiciones de cultivo a lo largo del tiempo, a pesar de las fluctuaciones en la temperatura, pH (Alzate Rodríguez et al., 2012) y conductividad eléctrica (López et al., 2022) de la solución nutritiva, como se muestra en la tabla 1. Mantener esta estabilidad es fundamental en sistemas de recirculación, ya que, como señalan García- Terrazas et al. (2021), las fluctuaciones en estos parámetros pueden afectar la absorción de nutrientes, el crecimiento y el rendimiento de las plantas.

El control automatizado permite minimizar estas fluctuaciones y optimizar las condiciones de cultivo para lograr una producción consistente y de alta calidad, así como Urdiales Ponce y Espín Ortega (2018) reportaron resultados positivos en el cultivo de lechuga en un sistema hidropónico NFT con monitoreos y controles de variables ambientales, lo que les permitió mantener condiciones favorables para el desarrollo de las plantas y obtener resultados positivos en el cultivo.

Esto indica que la recirculación de la solución nutritiva y un buen control de las condiciones ambientales proporcionó las condiciones necesarias para el crecimiento óptimo de las plantas, como una adecuada oxigenación de las raíces y un suministro constante de nutrientes.

El peso fresco de las lechugas en promedio, mostró variación entre repeticiones, oscilando entre 110 g y 280 g (Figura 3), lo que evidencia la influencia de diversos factores en el rendimiento (Tabla 1); esta variabilidad subraya la importancia de considerar el sistema de cultivo como las condiciones nutricionales, tal como lo señalan Góis et al. (2024), quienes reportaron que el peso total se ve afectado por las interacciones entre el sistema hidropónico y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, también Herrera et al. (2023) confirma que la optimización de la aireación y el control del estrés son factores importantes para lograr un mayor peso fresco.

El largo de las raíces fue la variable que mostró menor variación entre repeticiones, con valores entre 10 cm y 20 cm en promedio. Esto indica que el sistema recirculatorio proporcionó un ambiente radicular favorable y relativamente estable, como se muestra en la tabla 2, lo cual es fundamental para el desarrollo óptimo de

la lechuga, Moreno-Pérez et al. (2015) señala que el crecimiento radicular es un indicador importante de la salud de las plantas en sistemas hidropónicos, y un sistema radicular bien desarrollado es esencial para la absorción eficiente de agua y nutrientes, lo que a su vez se traduce en un mejor crecimiento y rendimiento del cultivo, dichos hallazgos concuerdan con Auquilla, A. P. G. et al. (2021), quienes también reportaron que el uso de sistemas de recirculación de la solución nutritiva en el cultivo de lechuga promueve un mayor desarrollo radicular.

Villa Ramírez et al. (2018) reportaron tamaños promedios de lechugas en su sistema hidropónico, oscilando entre 20 cm a 30 cm. Este rango de tamaño, similar al observado en el estudio (Figura 5), evidencia una tendencia común en el desarrollo de la lechuga bajo condiciones hidropónicas. La variación en el tamaño de la lechuga, indica una respuesta del crecimiento a los manejos implementados, donde la tendencia al aumento a lo largo del experimento, se atribuye a las condiciones proporcionadas por el sistema de recirculación, lo cual es consistente con los hallazgos de Ramos et al. (2021), quienes destacaron la influencia positiva de los sistemas de recirculación en las variables agronómicas, incluido el tamaño.

En relación con el diámetro de la roseta, se presentaron variaciones con valores entre 15 cm y 25 cm en promedio, influenciado por la disponibilidad de nutrientes y la intensidad lumínica, coincidiendo con Herrera et al. (2023) quienes obtuvieron resultados similares en su estudio sobre la producción de lechuga, de forma similar, Ayala Apaza et al. (2019) reportaron resultados comparables en términos del rango de diámetro de la roseta obtenido en cultivos hidropónicos de lechuga, lo que refuerza la conexión entre la nutrición y esta característica morfológica."

El tiempo de cosecha varió entre 30 y 35 días. Esta variabilidad está relacionada con las fluctuaciones en la temperatura de la solución nutritiva, que a su vez influyen en la tasa de crecimiento de las plantas; en este caso, Juárez-Rosete, C.R. et al (2022) encontraron que la temperatura de la solución nutritiva influyó significativamente en la tasa de crecimiento y el tiempo de cosecha de la lechuga cultivada. Como se observa en los datos de la tabla 1 (R4 y R5), las repeticiones con mayor tiempo de cosecha coincidieron con periodos de temperatura más baja.

En conclusión, los resultados de este estudio demostraron la eficiencia de un sistema de recirculación para la producción de lechuga hidropónica, los hallazgos indican que este sistema permite obtener un desarrollo radicular considerable, crecimiento satisfactorio, y por consiguiente obtener lechugas de buena calidad. Las condiciones ambientales juegan un papel importante en el desarrollo y adaptabilidad del cultivo, ya que, con temperaturas de 20°C en promedio y la humedad relativa estable, la plántula no sufre estrés post trasplante, lo que favorece a que el porcentaje de pérdida sea menor. La automatización del sistema contribuyó a mantener la estabilidad de las condiciones de cultivo, a pesar de las fluctuaciones en la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva. El sistema demostró ser eficiente en el uso de agua y nutrientes, lo que respalda su sostenibilidad y su potencial para optimizar la producción de lechuga en diferentes contextos.

Referencias

- Albuja, V., Andrade, J., Lucano, C., & Rodríguez, M. (2021). Comparison of the advantages of hydroponic systems as agricultural alternatives in urban areas. *Minerva*, 2(4), 45-54. <https://doi.org/10.47460/minerva.v2i4.26>
- Alcaldía Municipal de Juayúa. (2013). Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres. Proyecto de Fortalecimiento de los Gobiernos Locales (PFGl).
- Álzate Rodríguez, E. J., Montes Ocampo, J. W., & Escobar Escobar, R. M. (2012). Acondicionamiento del sensor de pH y temperatura para realizar titulaciones potenciométricas. *Scientia Et Technica*, XVII (51), 188-196.
- Álvarez Díaz, L. J. (2024). Producción de lechuga por el método hidropónico: evaluación económica y perspectivas. Año 2023. *Ciencias Económicas ISSN-2788-6425*, 5(9), 33-44.
- Auquilla, A. P. G., Carrillo, K. P. R., Castañeda, E. P. S., & Arrieta, M. A. V. (2024). Estrategias de cultivo: comparativa de tipologías de lechuga en sistemas hidropónicos. *CONCIEN CIADIGITAL*, 7(3.1), 68-82. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i3.1.3141>
- Carbone, A. (2015). Nutrición mineral. En J. Beltrano & D. O. Gimenez (Coords.), *Cultivo en hidroponía* (pp. 63-69). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/46752>
- García-Terrazas, M. I., Santillán-Carrillo, I. E., Holguín-Mina, R., & Sariñana-Aldaco, O. (2022). Impacto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva en la biomasa, pigmentos fotosintéticos y compuestos nitrogenados en lechuga. *Biotechnia*, 24(3), 115-122. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v24i3.1687>
- Google Earth. (2024). Ubicación del Centro de Investigación y Transferencia Agroalimentaria y Medioambiente (CITAM) [Imagen de satélite]. Recuperado el 2 de mayo de 2024, de <https://earth.google.com/web/@13.8372261,-89.712697,1988.28440921,2.81820680511d,35y,0h,0t0r/data=CocBGikSUwolMHg4Z>
- Herrera, A. L., de la Rosa Rodríguez, R., & Téllez, L. I. T. (2023). Producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con cinco proporciones de macronutrientes en solución nutritiva. *BIOAGRO*, 35(2), 113-122. <http://www.doi.org/10.51372/bioagro352.4>
- Juárez-Rosete, C. R., Bugarín-Montoya, R., Alejo-Santiago, G., Aguilar-Castillo, J. A., Peña-Sandoval, G. R., Palemón-Alberto, F., & Aburto-González, C. A. (2022). Concentración de nitratos en lechuga (*Lactuca sativa* L.) En un sistema de raíz flotante. *INTERCIENCIA*, 47(6), 225-231. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33971864004>
- Juárez Olmos, C., Lara Castro, M., Rivera Landa, J., & Bonilla Hernández, A. C. (2024). Desarrollo de un sistema hidropónico como fuente de alimentación para complementar la canasta básica. *Interconectando Saberes*, (17), 1-7. <https://doi.org/10.25009/is.v0i17.2832>
- Leiva Espinoza, S. T., Román Peña, A., Vilca Valqui, N. C., & Neri Chávez, J. C. (2019). Comportamiento productivo de 11 variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema hidropónico NFT recirculante (Chachapoyas – Amazonas). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 2(1), 38-44.

- López, S., Vera, J., Gunzha, F., Freire, E., & Pujos, M. (2022). Automatización del control de nutrientes en hidroponía mediante el uso de un sistema. *Polo del Conocimiento*, (Edición núm. 70) Vol. 7, No 7, 814-826. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.23857/pc.v7i7>
- Mateus Contreras, D., Montenegro Gutiérrez, C. C., Romero Moreno, L. M., & Méndez Pallares, B. (2021). Automatización de un cultivo hidropónico. *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, 2(38), 54–59. <https://doi.org/10.24054/rcta.v2i38.1307>
- Martínez, S., & Garbi, M. (2015). Modificación artificial del ambiente: cultivos protegidos. En J. Beltrano & D. O. Gimenez (Coords.), *Cultivo en hidroponía* (p. 143). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/46752>
- Moreno-Pérez, E. D. C., Sánchez-Del Castillo, F., Gutiérrez-Tlaque, J., González-Molina, L., & Pineda-Pineda, J. (2015). Greenhouse lettuce production with and without nutrient solution recycling. *REVISTA CHAPINGO SERIE HORTICULTURA*, XXI (1), 43-55. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60937765004>
- Pertierra Lazo, R., & Quispe Gonzabay, J. (2020). Análisis económico de lechugas hidropónicas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 31(1), 118-130. <https://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.09>
- Ramos, L. M., Ortiz, J. E., & Ruiz Erazo, H. (2021). Evaluación de variables agronómicas en cultivo de lechuga con sistema de recirculación. *Suelos Ecuatoriales*, 51(1 y 2), 37–44. [https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.47864/SE\(51\)2021p37-44_133](https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.47864/SE(51)2021p37-44_133)
- Rojano A., A., Salazar M., R., & Llamas G., Á. (2004). Producción agrícola controlada. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(2), 0. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93213203>
- Sandoya, G. V., Bosques, J., & Vassilaros, E. V. (2022). La Producción de Lechuga en Sistemas Hidropónicos a Pequeña Escala (HS1422s). UF/IFAS Extension, University of Florida. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.32473/edis-HS1433-2022>
- Urdiales Ponce, V., & Espín Ortega, J. (2018). Monitoreo de un sistema hidropónico NFT a escala usando arquitectura ARDUINO (parte 1). *Tecnología en marcha*, 31(2), 147-158. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i2.3632>
- Villa Ramírez, G. A., Giraldo Valencia, B., Orrego Cardona, M. L., Díaz López, L. M., Jaramillo Álvarez, B. E., & García Hinestroza, H. E. (2018). Evaluación comparativa de lechuga (*Lactuca sativa* L.) “Verónica” bajo condiciones controladas en dos métodos de producción. *Encuentro SENNOVA Del Oriente Antioqueño*, 4(1), 36–46. Recuperado a partir de <https://revistas.sena.edu.co/index.php/Encuentro/article/view/2055>
- Zambrano Cortés, N. H., & Behrentz Pfalz, M. C. (2014). Automation through variable control of a hydroponic cultivation operation. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 1(1), 44–54. <https://doi.org/10.23850/24220582.114>